

## Stacked piezoelectric device and method of fabrication thereof

**Patent number:** DE10153770  
**Publication date:** 2002-06-20  
**Inventor:** MITARAI SHINYA (JP); KOBAYASHI MASAYUKI (JP); MURAI ATSUSHI (JP); SUGIURA AKIO (JP); SATO KAZUHIDE (JP); MIZUNO ISAO (JP)  
**Applicant:** DENSO CORP (JP)  
**Classification:**  
- **international:** H01L41/047; H01L41/083; H01L41/00; H01L41/083; (IPC1-7): H01L41/083; H01L41/22  
- **European:** H01L41/047; H01L41/083  
**Application number:** DE20011053770 20011105  
**Priority number(s):** JP20000337807 20001106; JP20010308808 20011004

**Also published as:**

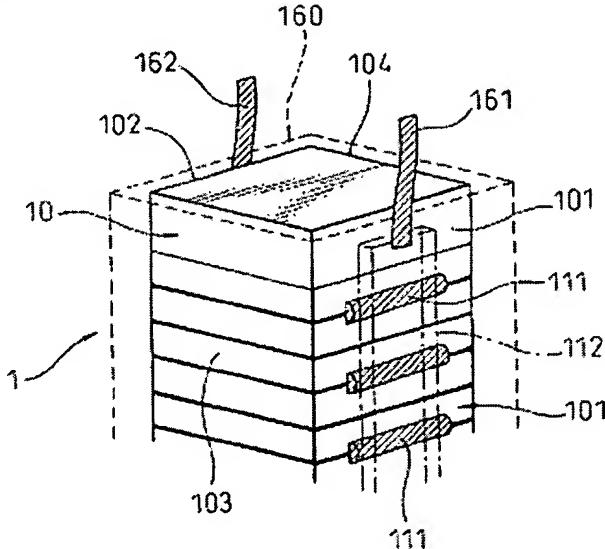
US6462464 (B2)  
US2002053860 (A1)  
JP2002203999 (A)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE10153770

Abstract of corresponding document: **US2002053860**

A stacked piezoelectric device having high durability and a method of fabrication thereof facilitating easy control of the process of fabrication, comprising a piezoelectric stack (10) having a first side electrode (11) and a second side electrode (12), piezoelectric layers (131, 132) and internal electrode layers (141, 142) having substantially the same area, internal electrode layers (141, 142) having ends thereof exposed to the side (101) of the stack (10), the first side electrode (11) including first insulative portions (111) formed at the ends of alternate ones of the internal electrode layers (141) and a first conductive portion (121) formed over the first insulative portions (111), a second side electrode (12) being similarly configured to form insulative portions (112) at the other ends, the first and second insulative portions (111, 112) being formed of an insulative resin, while the first and second conductive portions (112, 122) being formed of a conductive resin.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 53 770 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 41/083**  
H 01 L 41/22

DE 101 53 770 A 1

⑩ Unionspriorität:  
P 00-337807 06. 11. 2000 JP  
P 01-308808 04. 10. 2001 JP

⑦ Anmelder:  
Denso Corp., Kariya, Aichi, JP

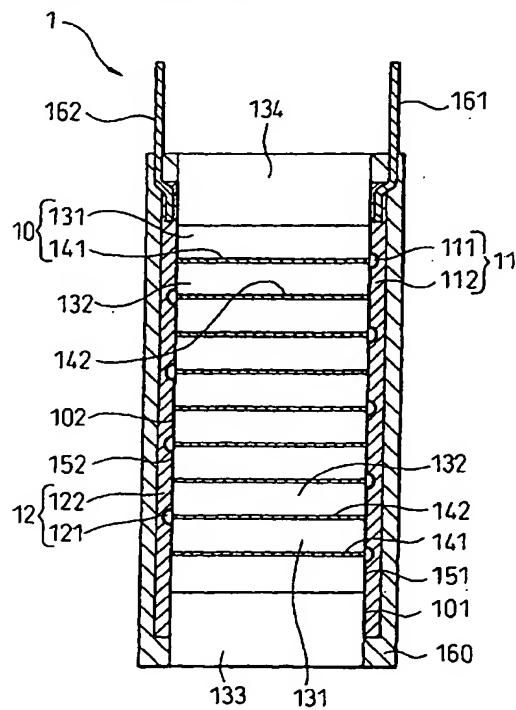
74 Vertreter:  
Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner GbR, 80336 München

72 Erfinder: Mitarai, Shinya, Kariya, Aichi, JP; Kobayashi, Masayuki, Kariya, Aichi, JP; Murai, Atsushi, Kariya, Aichi, JP; Sugiura, Akio, Kariya, Aichi, JP; Sato, Kazuhide, Kariya, Aichi, JP; Mizuno, Isao, Kariya, Aichi, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

#### 54 Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung und Verfahren zu deren Herstellung

57 Eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung mit hoher Dauerhaftigkeit und ein Verfahren zu dessen Herstellung mit einer erleichterten Steuerung beim Herstellungsvorgang umfassen einen piezoelektrischen Stapel (10) mit einer ersten Seitenelektrode (11) und einer zweiten Seitenelektrode (12), piezoelektrische Schichten (131, 132) und innere Elektrodenschichten (141, 142) mit im Wesentlichen derselben Fläche, wobei die Enden der inneren Elektrodenschichten (141, 142) an der Seite (101) des Stapels (10) freigelegt sind, und die erste Seitenelektrode (11) an den Enden von alternierenden inneren Elektrodenschichten (141) ausgebildete erste isolierende Abschnitte (111) und einen über den ersten isolierenden Abschnitt (111) ausgebildeten ersten leitenden Abschnitt (121) beinhaltet, dabei ist eine zweite Seitenelektrode (12) in ähnlicher Weise konfiguriert, damit isolierende Abschnitte (112) an den anderen Enden ausgebildet werden, wobei die ersten und zweiten isolierenden Abschnitte (111, 112) aus einem isolierenden Harz ausgebildet sind, während die ersten und zweiten leitenden Abschnitte (112, 122) aus einem leitenden Harz ausgebildet sind.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung, die dazu angepasst ist, bei Anlegen einer Spannung sich entlang der Höhe auszudehnen und zusammenzuziehen, sowie ein Verfahren zu deren Herstellung.

[0002] Der nachstehend beschriebene Aufbau einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung ist bekannt.

[0003] Gemäß Fig. 14 umfasst eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung 9 einen aus piezoelektrischen Schichten 931 und 932 ausgebildeten piezoelektrischen Stapel, zwischen den piezoelektrischen Schichten 931 und 932 alternierend ausgebildete innere Elektrodenschichten 941 und 942, wobei alternierend positive und negative Spannungen an den piezoelektrischen Schichten 931 und 932 angelegt werden können, sowie ein auf den Seiten 901 und 902 des piezoelektrischen Stapsels ausgebildetes Paar von Seitenelektroden 91.

[0004] Bei dem piezoelektrischen Stapel sind die inneren Elektrodenschichten 941 so angeordnet, dass sie zur Seite 901 freigelegt sind, während die inneren Elektrodenschichten 942 so angeordnet sind, dass sie an der anderen Seite 902 freigelegt sind.

[0005] Eine Seitenelektrode 91 ist auf jeder der Seiten 901 und 902 des piezoelektrischen Stapsels derartig ausgebildet, dass sie den dort freigelegten Enden der inneren Elektrodenschichten 941 und 942 Spannung zuführt. Die mit den Enden der inneren Elektrodenschicht 942 elektrisch verbundene andere Seitenelektrode ist versteckt und daher in Fig. 14 nicht sichtbar.

[0006] Die vorstehend beschriebene bekannte gestapelte piezoelektrische Vorrichtung weist das Problem auf, dass bei dem N-Abschnitt von Fig. 15 in Richtung zu der Seite 901 hin von dem Ende der inneren Elektrodenschicht 941 aus eine Neigung zum Auftreten von Brüchen vorliegt (ein ähnliches Problem betrifft auch die nicht gezeigte andere Seite 902).

[0007] Gemäß Fig. 15 weist der nicht an der Seite 901 freigelegte Endabschnitt 944 der inneren Elektrodenschicht 942 einen sich progressiv verjüngenden Abschnitt in dem piezoelektrischen Stapel auf. Der Endabschnitt 943 der inneren Elektrodenschicht 941 ist an der Seite 901 freigelegt.

[0008] Obwohl es nicht gezeigt ist, ist der Endabschnitt der inneren Elektrodenschicht 942 an der Seite 902 freigelegt, während das Ende der inneren Elektrodenschicht 941 nicht an der Seite 902 des piezoelektrischen Stapsels freigelegt ist, sondern innerhalb des piezoelektrischen Stapsels angeordnet ist, wobei dieser Abschnitt sich progressiv verjüngt.

[0009] Folglich sind die piezoelektrischen Schichten 931 und 932 in einen zwischen der inneren Elektrodenschicht 941 und der inneren Elektrodenschicht 942 umschlossenen Abschnitt M und einen entweder mit der inneren Elektrodenschicht 941 oder 942 in Kontakt stehenden Abschnitt N unterteilt.

[0010] Auf das Anlegen einer Spannung von den inneren Elektrodenschichten 941 und 942 an die piezoelektrischen Schichten 931 und 932 hin kann der zwischen den inneren Elektrodenschichten 941 und 942 umschlossene Abschnitt M entlang der Höhe des Stapsels verschoben werden. Der Abschnitt N kann jedoch nicht verschoben werden, da er mit lediglich einem der inneren Elektrodenschichten 941 und 942 in Kontakt steht.

[0011] Es entwickelt sich eine Verspannung in dem Abschnitt L, welcher in Fig. 15 durch eine gestrichelte Linie angedeutet ist, welche die Grenze zwischen den Abschnitten M und N bildet, und die mit dem verschobenen Abschnitt und dem nicht verschobenen Abschnitt in Kontakt steht.

[0012] Somit kann der piezoelektrische Stapel durch Brüche beschädigt werden, welche von dem Endabschnitt 942 zu der Seite 901 hin auftreten.

[0013] Diese Beschädigung tritt insbesondere auf, nachdem die gestapelte piezoelektrische Vorrichtung für eine lange Zeit verwendet wurde, oder in einer harten Betriebsumgebung, und war eine Hauptursache für eine Vorrichtungsverschlechterung.

[0014] Zudem sind bei der bekannten gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung 9 die inneren Elektrodenschichten 941 und 942 auf einem Teil der piezoelektrischen Schicht 931 und 932 konfiguriert. Aus diesem Grund ist zur Ausbildung der inneren Elektrodenschichten 941 und 942 in einer vorbestimmten Größe an exakten Stellen auf den piezoelektrischen Schichten 931 und 932 zum Zeitpunkt der Herstellung eine komplizierte und fehleranfällige Prozesssteuerung erforderlich, und daher ist eine Vereinfachung der Prozesssteuerung wünschenswert.

[0015] Zur Lösung dieses Problems wurde ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem jede innere Elektrodenschicht über der gesamten Oberfläche der entsprechenden piezoelektrischen Schicht ausgebildet wird.

[0016] Bei dieser Konfiguration weisen die inneren Elektrodenschichten und die piezoelektrischen Schichten im Wesentlichen die gleiche Fläche auf. Ferner ist jede Seitenelektrode derart konfiguriert, dass alternierende Enden der inneren Elektrodenschichten mit einem isolierenden Abschnitt bedeckt sind, und die anderen Enden durch einen die isolierenden Abschnitte bedeckenden leitenden Abschnitt elektrisch verbunden sind, sodass jede piezoelektrische Schicht zwischen inneren Elektrodenschichten verschiedener Polaritäten eingeschlossen ist.

[0017] Diese Konfiguration weist jedoch noch immer ein Problem hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der piezoelektrischen Vorrichtung auf.

[0018] Im Einzelnen wirkt in Anbetracht der Tatsache, dass die gestapelte piezoelektrische Vorrichtung entlang der Höhe des Stapsels verschoben wird, eine Verspannung auf die Seitenelektroden entlang der Höhe des Stapsels. Da die leitenden Abschnitte lediglich an den erforderlichen Punkten ausgebildet sind, ist die mechanische Festigkeit der leitenden Abschnitte so gering, dass sie mit Leichtigkeit von den inneren Elektrodenschichten getrennt werden.

[0019] Gemäß Vorstehendem ist mit der Konfiguration mit leitenden Abschnitten für die Spannungszufuhr an die über die gesamte Oberfläche der piezoelektrischen Schichten ausgebildeten inneren Elektrodenschichten eine Erzeugung einer piezoelektrischen Vorrichtung schwierig, die eine hohe Dauerhaftigkeit aufweist.

[0020] Demzufolge liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, die Probleme aus dem Stand der Technik zu beseitigen, und eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung anzugeben, welche eine hohe Dauerhaftigkeit aufweist, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung mit einer vereinfachten Herstellungsprozesssteuerung.

[0021] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung mit einem piezoelektrischen Stapel mit piezoelektrischen Schichten, die zum Ausdehnen und Zusammenziehen gemäß einer angelegten Spannung angepasst sind, und mit inneren Elektrodenschichten für die Zufuhr der angelegten Spannung, wobei jede der piezoelektrischen Schichten mit einer entsprechenden der inneren Elektrodenschichten alternierend gestapelt ist; und einer ersten Seitenelektrode, die auf einer Seite des piezoelektrischen Stapsels angeordnet ist, sowie einer zweiten Seitenelektrode, die auf der anderen Seite des piezoelektrischen Stapsels angeordnet ist; wobei die inneren Elektrodenschichten so konfiguriert sind, dass Benachbarte

von ihnen mit einer piezoelektrischen Schicht dazwischen durch die Seitenelektroden mit einer Spannung unterschiedlicher Polarität versorgt werden; wobei die piezoelektrischen Schichten und die inneren Elektrodenschichten so konfiguriert sind, dass sie im wesentlichen dieselbe Fläche aufweisen; wobei die Enden der inneren Elektrodenschichten an den Seiten des piezoelektrischen Stapsels freigelegt sind; wobei die erste Seitenlektrode eine Vielzahl von ersten isolierenden Abschnitten beinhaltet, die zur Bedeckung von Alternierenden der an einer Seite des piezoelektrischen Stapsels freigelegten Enden der inneren Elektrodenschichten ausgebildet sind, dabei ist ein erster leitender Abschnitt auf den ersten isolierenden Abschnitten entlang der Höhe des piezoelektrischen Stapsels angeordnet; wobei die erste Seitenlektrode Alternierende der inneren Elektrodenschichten mit Spannung versorgt; wobei die zweite Seitenlektrode eine Vielzahl von zweiten isolierenden Abschnitten beinhaltet, die zur Bedeckung von jenen Alternierenden der an der anderen Seite des piezoelektrischen Stapsels freigelegten und nicht mit den ersten isolierenden Abschnitten ausgebildeten Enden der inneren Elektrodenschichten ausgebildet sind, dabei ist ein zweiter leitender Abschnitt auf den zweiten isolierenden Abschnitten entlang der Höhe des piezoelektrischen Stapsels angeordnet; wobei die zweite Seitenlektrode Alternierende der inneren Elektrodenschichten mit Spannung versorgt; wobei die ersten und zweiten isolierenden Abschnitte aus einem isolierenden Harz konfiguriert sind; und wobei die ersten und zweiten leitenden Abschnitte aus einem leitenden Harz konfiguriert sind.

[0022] Das bemerkenswerteste Merkmal der Erfindung ist, dass die piezoelektrischen Schichten und die inneren Elektrodenschichten so konfiguriert sind, dass sie im Wesentlichen dieselbe Fläche aufweisen, dass jede innere Elektrodenschicht an einem Ende an der Seite des piezoelektrischen Stapsels freigelegt ist, dass die erste und die zweite Seitenlektrode erste bzw. zweite isolierende Abschnitte beinhaltet, welche die Enden der inneren Elektrodenschichten und den auf den ersten bzw. zweiten isolierenden Abschnitten angeordneten ersten und zweiten leitenden Abschnitt bedeckt, und dass die ersten und zweiten isolierenden Abschnitte aus einem isolierenden Harz ausgebildet sind, während der erste und zweite leitende Abschnitt aus einem leitenden Harz ausgebildet ist.

[0023] Nachstehend wird die erfundungsgemäße Betriebsweise beschrieben.

[0024] Die Tatsache, dass die piezoelektrischen Schichten und die inneren Elektrodenschichten im Wesentlichen dieselbe Fläche aufweisen, d. h. dass die inneren Elektrodenschichten über die gesamte Oberfläche der piezoelektrischen Schichten (Fig. 2) ausgebildet sind, bestätigt den Bedarf zur Steuerung der Fläche, in welcher die inneren Elektrodenschichten auf den piezoelektrischen Schichten ausgebildet sind.

[0025] Dies erleichtert die Prozesssteuerung zur Herstellung der piezoelektrischen Vorrichtung.

[0026] Ferner sind sowohl die isolierenden Abschnitte als auch die leitenden Abschnitte aus einem Harz ausgebildet und weisen eine hohe Elastizität auf. Folglich ist eine Beschädigung oder ein Bruch durch eine durch Verschiebung verursachte Verspannung bei der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung weniger wahrscheinlich.

[0027] In Anbetracht der Tatsache, dass die piezoelektrischen Schichten und die inneren Elektrodenschichten dieselbe Fläche aufweisen, ist weiterhin jede der piezoelektrischen Schichten zwischen den benachbarten inneren Elektrodenschichten über seine gesamte Oberfläche eingeschlossen. Daher umfassen die piezoelektrischen Schichten keinen Abschnitt M, der zu einer Verschiebung neigt, oder einen

Abschnitt N, der nicht zu einer Verschiebung neigt, weswegen eine Beschädigung der piezoelektrischen Schichten durch Verschiebung weniger wahrscheinlich ist.

[0028] Auf diese Weise kann eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung mit einer hohen Dauerhaftigkeit erzeugt werden. Zudem kann die gestapelte piezoelektrische Vorrichtung sehr zuverlässig wiederholt für eine lange Zeit oder in einer harten Betriebsumgebung verwendet werden.

[0029] Zudem kann die Dauerhaftigkeit einer hochleistungsfähigen piezoelektrischen Vorrichtung mit einer großen Verschiebung entlang der Höhe des Stapsels verbessert werden.

[0030] Gemäß vorstehender Beschreibung wird erfundungsgemäß eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung bereitgestellt, die eine hohe Dauerhaftigkeit aufweist, und bei der die Prozesssteuerung zur Herstellung vereinfacht ist.

[0031] Da die erfundungsgemäß gestapelte piezoelektrische Vorrichtung in einer harten Betriebsumgebung wiederholt verwendet werden kann, und eine hohe Dauerhaftigkeit gegen eine große Verschiebung aufrechterhält, ist sie als Ansteuerungsquelle einer Einspritzeinrichtung geeignet.

[0032] Falls der piezoelektrische Stapsel gemäß Fig. 1 ein Parallelepiped ist, kann bei ihr auf der einen Seite und der gegenüberliegenden Seite des Parallelepipedes die erste Seitenlektrode bzw. die zweite Seitenlektrode ausgebildet sein.

[0033] Bei einem piezoelektrischen Stapsel mit gekrümmten Seiten ist andererseits die erste Seitenlektrode mit einer zweckmäßigen Peripheriebreite auf der Außenseite ausgebildet, und die zweite Seitenlektrode mit einer zweckmäßigen Breite ist an einem von der ersten Seitenlektrode peripherisch beabstandeten Ort ausgebildet (vgl. Fig. 9).

[0034] Die Seiten können an den so genannten Ecken vorhanden sein (vgl. Fig. 10).

[0035] Gemäß einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung ist das isolierende Harz vorzugsweise zumindest aus Epoxidharz, Polyimidharz, Siliziumharz, Fluoroharz, Urethanharz, Acrylharz, Nylonharz oder Polyesterharz ausgebildet.

[0036] Diese Harze weisen eine überlegene Elastizität auf, und daher werden die erste und zweite Seitenlektrode aufgrund von daran angelegten Verspannungen durch Verschiebung der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung nicht mit Leichtigkeit beschädigt oder zerbrochen.

[0037] Ferner ist die Verwendung von Epoxydharz, Polyimidharz, Silikonharz oder Fluorharz besonders wünschenswert. All diese Harze weisen nicht nur die vorstehend beschriebene Elastizität auf, sondern auch eine überlegene Hitzebeständigkeit, Ölbeständigkeit sowie chemische Beständigkeit. Daher ist die Herstellung einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung möglich, welche selbst in einer harten Betriebsumgebung nicht mit Leichtigkeit degeneriert.

[0038] Gemäß einer dritten Ausgestaltung der Erfindung enthält das leitende Harz vorzugsweise ein Metallmaterial und ein Harzmaterial, das Metallmaterial ist dabei zumindest aus Silber, Gold, Kupfer, Nickel, einer Silberpalladiumverbindung, Kohlenstoff oder Zinn ausgebildet.

[0039] Das vorstehend beschriebene, zumindest aus Silber, Gold, Kupfer, Nickel, einer Silber-Palladiumverbindung, Kohlenstoff oder Zinn ausgebildete Metallmaterial weist eine hohe Leitfähigkeit auf, welche die Leitung mit den inneren Elektroden sicherstellt, wodurch die Erzeugung einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung mit einer hohen Leistungsfähigkeit ermöglicht wird.

[0040] Insbesondere Gold, Silber sowie eine Silberpalladiumverbindung weisen eine extrem kleine Migration auf, was zu einer verbesserten Feuchtigkeitsbeständigkeit der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung führt.

[0041] Gemäß einer vierten Ausgestaltung der Erfindung enthält das leitende Harz vorzugsweise ein Metallmaterial und ein Harzmaterial, das Harzmaterial ist dabei zumindest aus Epoxidharz, Polyimidharz, Siliziumharz, Fluoroharz, Urethanharz, Acrylharz, Nylonharz oder Polyesterharz ausgebildet.

[0042] Diese Harze weisen eine überlegene Elastizität auf, weswegen die erste und die zweite Seitenelektrode aufgrund von an diese aufgebrachte Verspannungen von einer Verschiebung der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung nicht leicht beschädigt oder zerbrochen.

[0043] Ferner ist die Verwendung von Epoxydharz, Polyimidharz, Silikonharz oder Fluorharz besonders wünschenswert. All diese Harze weisen nicht nur die vorstehend beschriebene Elastizität auf, sondern haben zudem eine überlegene Hitzebeständigkeit, Ölbeständigkeit und eine chemische Beständigkeit. Daher ist die Erzeugung einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung möglich, welche selbst in einer harten Betriebsumgebung nicht leicht degeneriert.

[0044] Gemäß einer fünften Ausgestaltung der Erfindung beträgt das Ausmaß des dem leitenden Harz hinzugefügten Metallmaterials vorzugsweise 50 bis 90 Gewichtsprozent.

[0045] Folglich weisen die erste und die zweite Seitenelektrode eine ausreichende Leitfähigkeit auf. Falls die Menge des zugeführten Metallmaterials weniger als 50 Gewichtsprozent beträgt, wird die Wahrscheinlichkeit, dass die Metallmaterialien miteinander in Kontakt gebracht werden, stark reduziert, mit dem Ergebnis, dass keine Leitfähigkeit zwischen der ersten und zweiten Elektrode vorliegen kann.

[0046] Wenn andererseits die zugefügte Menge größer als 90 Gewichtsprozent ist, ist die Menge des Harzmaterials unzureichend, und der gegenseitige Kontakt zwischen den Metallmaterialien kann instabil werden. Mit anderen Worten, das Harzmaterial stellt den Kontakt der Metallmaterialien sicher, weswegen die Leitfähigkeit der ersten und zweiten Seitenelektrode instabil werden kann, wenn die Menge des Harzmaterials zu gering ist. Die Menge des hinzugefügten Metallmaterials ist definiert als die Menge von in dem leitenden Harz enthaltene Metallmaterial, welche als 100 Gewichtsprozent angenommen wird. Demzufolge ist ein bevorzugter Bereich 50 Gewichtsprozent des Metallmaterials und 50 Gewichtsprozent des Harzmaterials bis 90 Gewichtsprozent des Metallmaterials und 10 Gewichtsprozent des Harzmaterials.

[0047] Gemäß einer sechsten Ausgestaltung der Erfindung beträgt das Elastizitätsmodul des isolierenden Harzes und des leitenden Harzes vorzugsweise 0,1 MPa bis 40 GPa.

[0048] Wenn sich die gestapelte piezoelektrische Vorrichtung in Betrieb befindet, werden folglich die erste und die zweite Seitenelektrode nicht leicht zerbrochen, und daher kann eine Vorrichtung mit einer hohen Dauerhaftigkeit hergestellt werden.

[0049] Wenn das Elastizitätsmodul weniger als 0,1 MPa beträgt, kann der wechselseitige Kontakt zwischen den in dem leitenden Harz enthaltenen Metallmaterialien instabil werden. Somit kann die Leitfähigkeit der ersten und der zweiten Seitenelektrode ebenfalls instabil werden.

[0050] Wenn andererseits das Elastizitätsmodul größer als 40 GPa ist, können sich die erste und die zweite Seitenelektrode nicht gemäß der Ausdehnung/Kontraktion des piezoelektrischen Stapsels ausdehnen oder zusammenziehen, der die piezoelektrische Vorrichtung im Betrieb ausmacht, sodass die Seitenelektroden Brüche entwickeln können, und sich ihre Leitfähigkeit wahrscheinlich reduziert.

[0051] Zur Stabilisierung der Verbindung zwischen den Metallmaterialien beträgt das Elastizitätsmodul des isolierenden Harzes und des leitenden Harzes vorzugsweise 1 MPa.

[0052] Gemäß einer siebten Ausgestaltung der Erfindung beträgt der spezifische elektrische Widerstand des isolierenden Harzes vorzugsweise nicht weniger als  $10^6 \Omega/\text{cm}$ .

[0053] Folglich kann bei dem ersten und dem zweiten Isolationsabschnitt die Isolation sichergestellt werden.

[0054] Wenn der spezifische elektrische Widerstand weniger als  $10^8 \Omega/\text{cm}$  beträgt, sind andererseits die Isolationseigenschaften des ersten und zweiten Isolationsabschnitts so gering, dass es schwierig ist, positive und negative Spannung an die beiden Seiten der piezoelektrischen Schicht anzulegen, weswegen die Leistungsfähigkeit der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung sich wahrscheinlich reduziert, da es hierbei umso besser ist, je höher der spezifische elektrische Widerstand ist.

[0055] Gemäß einer achtten Ausgestaltung der Erfindung beträgt der spezifische elektrische Widerstand des leitenden Harzes vorzugsweise nicht mehr als  $10^{-1} \Omega/\text{cm}$ .

[0056] Im Ergebnis kann die Leitung in dem ersten und dem zweiten leitenden Abschnitt ohne Fehler sichergestellt werden. Wenn der spezifische elektrische Widerstand mehr als  $10^{-1} \Omega/\text{cm}$  beträgt, sind andererseits die Leitungseigenschaften des ersten und zweiten leitenden Abschnitts so gering, dass es schwierig werden kann, eine Spannung an die piezoelektrischen Schichten durch die erste und die zweite Seitenelektrode anzulegen.

[0057] In diesem speziellen Fall ist es umso besser, je kleiner der spezifische elektrische Widerstand ist.

[0058] Gemäß einer zehnten Ausgestaltung der Erfindung umfasst die piezoelektrische Vorrichtung vorzugsweise eine erste und eine zweite Herausführungselektrode, die mit der ersten und der zweiten Seitenelektrode elektrisch verbunden sind.

[0059] Folglich kann eine Energieversorgung oder der gleichen mit Leichtigkeit mit der ersten und zweiten Seitenelektrode verbunden werden.

[0060] Gemäß einer elften Ausgestaltung der Erfindung ist vorzugsweise zumindest ein Teil der ersten und der zweiten Herausführungselektrode in der ersten und der zweiten Seitenelektrode vergraben, wobei die erste und die zweite Herausführungselektrode mit dem leitenden Harz verbunden wird, wenn der leitende Harz ausgebildet wird.

[0061] Daher werden die Seitenelektroden zur gleichen Zeit ausgebildet, wenn die erste und die zweite Herausführungselektrode gekoppelt werden, wodurch die Prozesssteuerung vereinfacht und die Schrittanzahl zur Herstellung einer erfundungsgemäßen gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung reduziert wird.

[0062] Gemäß einer zwölften Ausgestaltung der Erfindung ist vorzugsweise die elektrische Leitung der ersten und der zweiten Herausführungselektrode von einem Ende entlang der Höhe des piezoelektrischen Stapsels zu deren andrem Ende gesichert.

[0063] Folglich kann die erste und die zweite Herausführungselektrode fester mit der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung verbunden werden. Zudem führt die Tatsache, dass die elektrische Leitung von der Oberseite bis zum Grund des piezoelektrischen Stapsels sichergestellt ist, zu einer hohen Zuverlässigkeit, selbst wenn ein Teil der Herausführungselektroden abgetrennt wird.

[0064] Gemäß einer dreizehnten Ausgestaltung sind die erste und die zweite Herausführungselektrode vorzugsweise von gewellter, geschlitzter, kammartiger oder netzartiger Gestalt.

[0065] Die erste und zweite Herausführungselektrode mit den vorstehend angeführten Gestalten weisen eine hohe Flexibilität auf, und können mit Leichtigkeit eine Verschiebung absorbieren. Daher fallen die erste und die zweite Herausführungselektrode nicht mit Leichtigkeit heraus oder verlie-

ren den Kontakt mit dem piezoelektrischen Stapel, wenn sich die piezoelektrische Vorrichtung entlang der Höhe des Stapels ausdehnt oder zusammenzieht, wodurch die Zuverlässigkeit der piezoelektrischen Vorrichtung verbessert wird.

[0066] Gemäß einer vierzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist vorzugsweise eine dünne Elektrodenschicht zwischen den ersten und zweiten leitenden Abschnitten und den Seitenoberflächen des piezoelektrischen Stapels angeordnet. [0067] Folglich kann der enge Kontakt zwischen dem ersten und dem zweiten leitenden Abschnitt und dem piezoelektrischen Stapel sowie die elektrische Leitfähigkeit mit den inneren Elektrodenschichten verbessert werden.

[0068] Eine dünne leitende Schicht wird auf einem Teil oder der gesamten Kontaktoberfläche zwischen dem ersten und dem zweiten leitenden Abschnitt und dem piezoelektrischen Stapel ausgebildet. Die dünne Elektrodenschicht kann selbstverständlich auch nach den ersten und zweiten isolierenden Abschnitten ausgebildet werden. Die dünne Elektrodenschicht kann zwischen den ersten und zweiten isolierenden Abschnitten und dem ersten und dem zweiten leitenden Abschnitt angeordnet sein. Zur Sicherstellung der Isolation ist die Abwesenheit der dünnen Elektrodenschicht bis zu den oberen und unteren Enden des piezoelektrischen Stapels wünschenswert.

[0069] Gemäß einer fünfzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist vorzugsweise die dünne Elektrodenschicht vorzugsweise eine plattierte Schicht oder eine aus der Gasphase abgeschiedene Schicht.

[0070] Folglich kann eine homogene dünne Elektrodenschicht in engem Kontakt mit dem piezoelektrischen Stapel ausgebildet werden.

[0071] Eine weitere erfindungsgemäße Lösung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung gemäß einer der Ausgestaltungen eins bis fünfzehn, und ist dadurch gekennzeichnet, dass eine isolierende Harzschicht auf den Seitenoberflächen des piezoelektrischen Stapels ausgebildet wird, wonach die isolierenden Harzschichten von Alternierenden der piezoelektrischen Schichten entfernt werden, wodurch ein isolierender Abschnitt ausgebildet wird.

[0072] Folglich wird die Prozesssteuerung wie etwa für den Isolationsabstand eliminiert und die nachfolgende Prozesssteuerung kann erleichtert werden.

[0073] Gemäß einer siebzehnten Ausgestaltung der Erfindung wird vorzugsweise die isolierende Harzschicht durch das Tintenstrahlverfahren oder das Druckverfahren ausgebildet.

[0074] Gemäß diesem Verfahren werden die Dicke und die Breite des Beschichtungsabstandes der isolierenden Harzschichten mit Leichtigkeit gesteuert, und daher kann eine isolierende Harzschicht mit einer vorbestimmten Gestalt genau erzeugt werden.

[0075] Gemäß einer achtzehnten Ausgestaltung der Erfindung werden vorzugsweise die isolierenden Harzschichten durch das Laserverfahren oder das Photolithografieverfahren entfernt.

[0076] Gemäß diesem Verfahren kann eine Feinsteuerung der Teilentfernung mit Leichtigkeit erwirkt werden, sodass eine isolierende Harzschicht mit präziser Größe und Gestalt erzielt werden kann.

[0077] Nachstehend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung anhand von Ausführungsbeispielen der Erfindung näher beschrieben. Es zeigen:

[0078] Fig. 1 eine Schnittansicht einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0079] Fig. 2A ein Diagramm des Zustands, in dem die in-

neren Elektroden auf den piezoelektrischen Schichten angeordnet sind, und Fig. 2B eine perspektivische Ansicht eines piezoelektrischen Stapels gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0080] Fig. 3 ein Diagramm der wesentlichen Teile einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0081] die Fig. 4A bis 4C Diagramme zur Beschreibung des Ablaufs zur Ausbildung der ersten isolierenden Abschnitte und des ersten leitenden Abschnitts auf dem piezoelektrischen Stapel gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0082] Fig. 5 ein Diagramm des Zusammenhangs zwischen der Verschiebung und der Betriebsanzahl bei der bekannten gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung und dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0083] Fig. 6 eine perspektivische Ansicht einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung mit oktogonalen piezoelektrischen Schichten gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel;

[0084] Fig. 7 eine perspektivische Ansicht einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung mit fassförmigen piezoelektrischen Schichten gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel;

[0085] Fig. 8 ein Diagramm der Anordnung der ersten und der zweiten Seitenelektrode einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung mit einem hexagonalen Querschnitt gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel;

[0086] Fig. 9 ein Diagramm zur Beschreibung der Anordnung der ersten und der zweiten Seitenelektrode einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung mit einem Kreisquerschnitt gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel;

[0087] Fig. 10 ein Diagramm zur Beschreibung der Anordnung der ersten und der zweiten Seitenelektrode einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung mit einem Quadratquerschnitt gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel;

[0088] Fig. 11 ein Diagramm zur Beschreibung der Anordnung der ersten und der zweiten Seitenelektrode einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung mit einem quadratischen Abschnitt gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel;

[0089] Fig. 12 ein Diagramm zur Beschreibung der wesentlichen Teile einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung, wobei die Herausführungselektroden eine gewellte Gestalt gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel aufweisen;

[0090] Fig. 13 ein Diagramm zur Beschreibung eines Hauptteils einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung mit einer dünnen Elektrodenschicht gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel;

[0091] Fig. 14 zeigt ein Diagramm zur Beschreibung einer bekannten gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung; und

[0092] Fig. 15 zeigt ein Diagramm zur Beschreibung der Probleme aus dem Stand der Technik.

(Erstes Ausführungsbeispiel)

[0093] Nachstehend wird eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung sowie ein Verfahren zur dessen Herstellung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 4 beschrieben.

[0094] Eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung 1 gemäß diesem Ausführungsbeispiel umfasst gemäß den Fig. 1 und 2 einen piezoelektrischen Stapel 10 mit piezoelektrischen Schichten 131 und 132, welche so angepasst sind, dass sie sich gemäß einer angelegten Spannung ausdehnen und zusammenziehen, und die alternierend mit inneren Elektrodenschichten 141 und 142 für die Zufuhr der ange-

legten Spannung gestapelt sind, sowie eine auf der Seite 101 ausgebildete erste Seitenelektrode 11 und eine auf der Seite 102 des piezoelektrischen Stapels 10 ausgebildete zweite Seitenelektrode 12, wobei benachbarte innere Elektroden-  
schichten 141 und 142 mit den entsprechenden der piezoelektrischen Schichten 131 und 132 dazwischen mit Spannung unterschiedlicher Polarität durch die Seitenelektroden 11 und 12 versorgt werden.

[0095] Gemäß den Fig. 2A und 2B sind die piezoelektrischen Schichten 131 und 132 sowie die inneren Elektroden-  
schichten 141 und 142 des piezoelektrischen Stapels 10 so konfiguriert, dass sie die gleiche Fläche aufweisen.

[0096] Gemäß Fig. 1 sind zudem die Enden von alternierenden inneren Elektrodenschichten 141 an der Seite 101 des piezoelektrischen Stapels 10 freigelegt, und jedes an der Seite 101 der ersten Seitenelektrode 11 freigelegte Ende der inneren Elektroden-  
schichten 141 ist mit einem ersten isolierenden Abschnitt 111 bedeckt. Ein erster leitender Abschnitt 112 ist entlang der Höhe des piezoelektrischen Stapels 10 über den ersten isolierenden Abschnitten 111 ausgebildet.

[0097] Gemäß Fig. 1 ist bei jedem der alternierenden inneren Elektrodenschichten 142, bei denen nicht der erste isolierende Abschnitt 111 auf der Seite 102 ausgebildet ist, ein Endabschnitt davon zu der zweiten Seitenelektrode 12 freigelegt, wobei das Ende mit einem zweiten isolierenden Abschnitt 121 bedeckt ist, und ein zweiter leitender Abschnitt 122 ist entlang der Höhe des piezoelektrischen Stapels 10 über den zweiten isolierenden Abschnitten 121 ausgebildet.

[0098] Die ersten und zweiten isolierenden Abschnitte 111 und 112 sind aus einem isolierenden Harz ausgebildet, während der erste und der zweite leitende Abschnitt 112 und 122 aus einem leitenden Harz ausgebildet sind.

[0099] Nachstehend ist eine detaillierte Beschreibung angegeben.

[0100] Die gestapelte piezoelektrische Vorrichtung 1 gemäß diesem Ausführungsbeispiel umfasst auf gegenüberliegenden Seiten 101 bzw. 102 ausgebildete erste und zweite Seitenelektroden 11 und 12 des parallelepipedischen piezoelektrischen Stapels 10.

[0101] Der piezoelektrische Stapel 10 ist gemäß den Fig. 2A und 2B aus den piezoelektrischen Schichten 131 und 132 und den inneren Elektrodenschichten 141 und 142 mit derselben Fläche und alternierend zueinander gestapelt angeordnet. Die an den oberen bzw. unteren Enden angeordneten piezoelektrischen Schichten 134 und 133 des piezoelektrischen Stapels 10 sind so genannte Scheinschichten, die keine inneren Elektrodenschichten 141 und 142 mit benachbarten piezoelektrischen Schichten 131 und 132 aufweisen.

[0102] Die inneren Elektrodenschichten 141 und 142 sind an den vier Seiten des piezoelektrischen Stapels 10 freigelegt.

[0103] Gemäß Fig. 1 weist das Ende jeder inneren Elektrodenschicht 141, die zu der Seite 101 freigelegt ist, den ersten isolierenden Abschnitt 111 auf. Jeder erste isolierende Abschnitt 111 ist aus von der Oberfläche der Seite 101 vorragendem Epoxidharz ausgebildet.

[0104] Gemäß Fig. 3 ist der erste leitende Abschnitt 112 mit einer geringen Breite als der erste isolierende Abschnitt 111 auf der Seite 101 derartig ausgebildet, dass er die gesamten ersten isolierenden Abschnitte 111 entlang der Höhe des Stapels bedeckt. Der erste leitende Abschnitt 112 ist aus Silber enthaltendem Epoxydharz ausgebildet.

[0105] Die ersten isolierenden Abschnitte 111 und der erste leitende Abschnitt 112 bilden die ersten Seitenelektrode 11.

[0106] Die Seitenoberfläche des piezoelektrischen Stapels 10 weist eine Breite von 40 mm auf und die nahezu in dem

Zentrum der Seite 101 angeordnete erste Seitenelektrode weist eine Breite von 3 mm auf. Der erste isolierende Abschnitt 111 ist transversal länger als der erste leitende Abschnitt 112.

[0107] Die zweite Seitenelektrode 12 weist eine ähnliche Konfiguration zu der ersten Seitenelektrode 11 auf, aber unterscheidet sich von der ersten Seitenelektrode 11 dahingehend, dass der zweite isolierende Abschnitt 121 am Ende von alternierenden inneren Elektrodenschichten 142 angeordnet ist.

[0108] Gemäß den Fig. 1 und 3 sind die Seitenelektroden 11 und 12 mit Zuleitungsdrähten 161 und 162 verbunden, welche als die erste bzw. zweite Zuleitungselektrode arbeiten, durch die Energie zur Ansteuerung der piezoelektrischen Vorrichtung 1 von einer externen Energieversorgungsquelle zugeführt wird.

[0109] Gemäß Fig. 3 ist eine feuchtigkeitssichere Harzbeschichtung 160 zur Bedeckung der gesamten vier Seitenoberflächen des piezoelektrischen Stapels 10 inklusive der anderen Seiten 103 und 104, der Seitenelektroden 11 und 12 und der verbleibenden Abschnitte der Seiten 101 und 102 ausgebildet, die nicht durch die Seitenelektroden 11 und 12 bedeckt sind.

[0110] Nachstehend wird ein Verfahren zur Herstellung der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung 1 gemäß diesem Ausführungsbeispiel beschrieben.

[0111] Eine Rohschicht für die piezoelektrischen Schichten 131 und 132 wird hergestellt. Pulver aus Bleioxid, Zirkoniumoxid und Strontiumoxid als Hauptmaterialien der piezoelektrischen Vorrichtung werden in eine vorbestimmte Zusammensetzung gemessen. Diese Zusammensetzungselemente sind jedoch mit einem 1 bis 2% größeren Bleiateil vorgeschrieben, was die Verdampfung des Bleiateils in Betracht zieht.

[0112] Das derartig hergestellte Material wird in einer Mischvorrichtung trocken gemischt und bei 800 bis 900°C kalziniert. Reines Wasser und ein Dispersionsmittel werden dem resultierenden kalzinierten Pulver unter Ausbildung eines Schlammes hinzugefügt, der mit einer Einrichtung wie etwa einer Stabmühle nass geschliffen wird.

[0113] Das somit geschliffene Objekt wird getrocknet und entfettet, nachdem ein Lösungsmittel, ein Bindemittel, ein Weichmacher und ein Dispersionsmittel hinzugefügt wurden, welche in einer Kugelmühle gemischt werden.

[0114] Der resultierende Schlamm wird in eine Rohschicht mit einer vorbestimmten Dicke durch eine Schaberklingenmaschine ausgebildet. Die Rohschicht wird in einer Presse gestanzt oder durch eine Schneidemaschine in ein Stück piezoelektrische Schicht einer vorbestimmten Größe geschnitten.

[0115] Dann wird eine leitende Paste zur Ausbildung der inneren Elektrodenschichten hergestellt. Die somit hergestellte leitende Paste enthält Silber und Palladium in einem Verhältnis von 7 zu 3. Diese leitende Paste wird auf die piezoelektrische Schicht in einer vorbestimmten Dicke zur Ausbildung eines gedruckten Abschnittes der inneren Elektrodenschichten gedruckt.

[0116] Die mit dem gedruckten Abschnitt ausgebildeten piezoelektrischen Schichten werden in der in den Fig. 2A und 2B gezeigten Weise gestapelt. Die mit der inneren Elektrodenschicht nicht ausgebildeten Rohschichten werden auf den oberen und unteren Enden des Stapels angeordnet, und alle Rohschichten werden zur Erzeugung eines Laminatkörpers eines piezoelektrischen Stapels thermisch verbunden. Die thermische Verbindung wird bei 120°C unter einem Druck von 34 Pa/cm<sup>2</sup> ausgeführt.

[0117] Der Laminatkörper wird bei 400 bis 700°C in einem elektrischen Ofen entfettet, und bei 900 bis 1200°C ge-

backen, wonach die gesamten Oberflächen des Laminatkörpers zur Erzeugung eines piezoelektrischen Stapels einer vorbestimmten Größe poliert werden.

[0118] Danach wird gemäß Fig. 4A ein isolierender Harz in eine vorbestimmte Breite auf der Seite 101 im Wesentlichen über die gesamte Höhe des Stapels gedrückt. Die Dicke beträgt etwa 50 bis 100 µm. Der gedrückte Abschnitt wird zur Ausbildung einer isolierenden Harzschicht 110 gehärtet.

[0119] Dann wird gemäß Fig. 4B ein Laserstrahl auf alternierende piezoelektrische Schichten zur Entfernung der nicht erforderlichen Abschnitte gerichtet. Bei Fig. 4B ist lediglich eine Seite 101 gezeigt, und die Abschnitte der anderen Seite 102, obwohl nicht gezeigt, werden in gestaffelter Weise bezüglich den von der ersten Seite gezeigten Abschnitten entfernt (Fig. 1). Folglich werden die ersten isolierenden Abschnitte 111 ausgebildet.

[0120] Anstelle eines Laserstrahls kann die Fotolithografie zur Entfernung der nicht erforderlichen Abschnitte verwendet werden.

[0121] Sodann wird gemäß Fig. 4C der leitende Harz derartig beschichtet, dass der Zuleitungsdräht 161 über eine schmalere Breite als die ersten isolierenden Abschnitte 111 vergraben wird, wodurch eine leitende Harzschicht 118 ausgebildet wird.

[0122] Danach wird die leitende Harzschicht 118 gehärtet, wodurch ein erster leitender Abschnitt 112 ausgebildet wird.

[0123] Auf diese Weise wird die erste Seitenelektrode 11 auf der Seite 101 des piezoelektrischen Stapels 10 ausgebildet, und der Zuleitungsdräht 161 wird mit der ersten Seitenelektrode 11 verbunden. Ein ähnliches Verfahren wird auch zur Ausbildung der zweiten Seitenelektrode 12 und des Zuleitungsdrähts 162 verwendet.

[0124] Dann werden alle Seitenoberflächen des piezoelektrischen Stapels 10 mit einem feuchtigkeitsbeständigem Harz beschichtet, indem sie in das isolierende Harz getaucht werden, und somit wird die gestapelte piezoelektrische Vorrichtung 1 gemäß diesem Ausführungsbeispiel vervollständigt.

[0125] Die Leistungsfähigkeit der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel wurde bewertet.

[0126] Durch das Betreiben der in Fig. 1 gezeigten gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel wurde das Ausmaß der Verschiebung und die Anzahl an Betriebsvorgängen der Vorrichtung gemessen.

[0127] Außerdem wurde eine ähnliche Messung durch Betreiben der in Fig. 14 gezeigten bekannten gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung aufgenommen. Das Ergebnis ist in Fig. 5 gezeigt.

[0128] Gemäß Fig. 5 wurde das Ausmaß an Verschiebung scharf reduziert, während bei der bekannten Vorrichtung ein Kurzschluss auftrat, wenn die Anzahl an Betriebsvorgängen 106 überschritt.

[0129] Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung verblieb im Gegensatz dazu das Ausmaß an Verschiebung im Wesentlichen dasselbe, wie zu Beginn (wenn die Betriebsanzahl Null betrug), selbst wenn die Anzahl an Betriebsvorgängen 109 erreichte.

[0130] Nachstehend wird die Arbeitsweise und die Wirkungen des vorliegenden Ausführungsbeispiels beschrieben.

[0131] Bei der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung 1 gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel weisen nach Fig. 2 die piezoelektrischen Schichten 131 und 132 dieselbe Fläche wie die inneren Elektrodenschichten 141 und 142 auf, welche über die gesamten Oberflächen der pie-

zolelektrischen Schichten 131 und 132 konfiguriert sind. Während der Herstellung ist es daher nicht notwendig, die Fläche zu steuern, in der die inneren Elektrodenschichten 141 und 142 auf den piezoelektrischen Schichten 131 und 132 ausgebildet sind, wodurch die Prozesssteuerung erleichtert wird.

[0132] In Anbetracht der Tatsache, dass die ersten und zweiten isolierenden Abschnitte 111 und 121 und die ersten und zweiten leitenden Abschnitte 112 und 122 beide aus Harz ausgebildet sind, können zudem die Seitenelektroden 11 und 12 mit hoher Elastizität erzeugt werden. Folglich werden die Seitenelektroden 11 und 12 nicht leicht aufgrund einer durch die Verschiebung der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung 1 verursachten Verspannung beschädigt oder zerbrochen. Außerdem werden die Seitenelektroden 11 und 12 nicht leicht von den inneren Elektrodenschichten 141 und 142 getrennt.

[0133] In Anbetracht der Tatsache, dass die piezoelektrischen Schichten 131 und 132 und die inneren Elektrodenschichten 141 und 142 die gleiche Fläche aufweisen, ist ferner jede der piezoelektrischen Schichten 131 und 132 über seine gesamte Oberfläche zwischen benachbarten inneren Elektrodenschichten 141 und 142 eingeschlossen. Daher gibt es keinen Abschnitt M, der zur Verschiebung neigt, oder einen Abschnitt N, der nicht zu einer Verschiebung neigt, ungleich dem in Fig. 15 gezeigten Stand der Technik. Somit wird die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung an den piezoelektrischen Schichten 131 und 132 eliminiert, die andernfalls durch derartige Abschnitte M und N verursacht werden könnte.

[0134] Folglich kann gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung mit einer hohen Dauerhaftigkeit erzeugt werden. Aus diesem Grund kann die Vorrichtung wiederholt für eine lange Zeit sehr zuverlässig in einer harten Betriebsumgebung verwendet werden (Fig. 5).

[0135] Eine Anwendung des Ausführungsbeispiels auf eine hochleistungsfähige piezoelektrische Vorrichtung, die in einem beträchtlichen Ausmaß entlang der Höhe des Stapels verschoben werden kann, stellt zudem eine höhere Dauerhaftigkeit als der Stand der Technik bereit.

[0136] Gemäß vorstehender Beschreibung wird gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung mit hoher Dauerhaftigkeit sowie ein Verfahren zu deren Herstellung mit einer leicht ausführbaren Prozesssteuerung zum Zeitpunkt der Herstellung bereitgestellt.

[0137] Obwohl das vorliegende Ausführungsbeispiel ein Verfahren zur Ausbildung der ersten und zweiten isolierenden Abschnitte 111 und 121 derartig verwendet, dass eine isolierende Harzschicht über die gesamte Oberfläche entlang der Höhe des Stapels ausgebildet wird (Fig. 4A), und dann die nicht erforderlichen Abschnitte entfernt werden (Fig. 4B), können anstelle dieses Verfahrens die ersten und zweiten isolierenden Abschnitte 111 und 121 durch die Ausbildung einer isolierenden Harzschicht in lediglich dem erforderlichen Abschnitt erzeugt werden, in dem sie teilweise gedrückt und gehärtet werden.

## 60 Ausführungsbeispiel 2

[0138] Gestapelte piezoelektrische Vorrichtungen mit einer unterschiedlichen Gestalt der piezoelektrischen Schicht gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel sind in den Fig. 6 bis 12 gezeigt.

[0139] Fig. 6 zeigt eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung 1 mit piezoelektrischen Schichten 131 und 132, und innere Elektrodenschichten 141 und 142 mit einer okta-

gonalen Gestalt. Außerdem zeigt Fig. 7 eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung mit piezoelektrischen Schichten 131 und 132 und innere Elektrodenschichten 141 und 142 in der Gestalt eines Fasses.

[0140] Bei beiden ist eine erste Seitenelektrode 11 und eine nicht gezeigte zweite Seitenelektrode auf der Seitenoberfläche 101 und einer der Seitenoberfläche 101 gegenüberliegenden Seitenoberfläche 102 ausgebildet.

[0141] Andere detaillierte Teile sind ähnlich zu jenen des ersten Ausführungsbeispiels.

[0142] Die Fig. 8 bis 11 zeigen die Positionen, an denen die ersten und zweiten Seitenelektroden 11 und 12 in der gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung 1 angeordnet sind. Fig. 8 zeigt eine Konfiguration mit einem hexagonalen Querschnitt, wobei die erste und die zweite Seitenelektrode 11 und 12 auf gegenüberliegenden Seitenoberflächen angeordnet sind.

[0143] Fig. 9 zeigt eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung mit einem Kreisquerschnitt, wobei die erste und die zweite Seitenoberfläche 11 und 12 an Positionen des Kreises in diametral gegenüberliegendem Verhältnis zueinander angeordnet sind.

[0144] Die Fig. 10 und 11 zeigen eine Konfiguration mit einem quadratischen Querschnitt, wobei Fig. 10 eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung 1 zeigt, bei der die erste und die zweite Seitenelektrode 11 und 12 an den Ecken der diagonalen Enden des Quadrats angeordnet sind. Fig. 11 zeigt andererseits eine Konfiguration, bei der die erste und die zweite Seitenelektrode zueinander benachbart angeordnet sind.

[0145] Andere Einzelheiten der Konfiguration sind ähnlich zu jenen von Fig. 1.

[0146] In jeder anderen Konfiguration kann ein ähnlicher Effekt zu dem ersten Ausführungsbeispiel erzeugt werden, solange die erste und die zweite Seitenelektrode in einer Weise angeordnet sind, bei der sie nicht elektrisch verbunden sind (d. h. falls die erste Elektrode eine positive Elektrode ist, dann muss die zweite Elektrode negativ sein).

#### Ausführungsbeispiel 3

[0147] Gemäß Fig. 12 betrifft dieses Ausführungsbeispiel eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung mit einer ersten und einer zweiten herausgeführten Elektrode aus einer gewellten Metallplatte.

[0148] Gemäß der Darstellung sind die Endabschnitte der inneren Elektrodenschichten 141 und 142 an der Seitenoberfläche 101 des piezoelektrischen Staps 10 freigelegt. Die ersten isolierenden Abschnitte 111 sind in alternierenden Schichten zur Bedeckung der Endabschnitte der inneren Elektrodenschichten 141 angeordnet, und die ersten leitenden Abschnitte 112 sind auf den ersten isolierenden Abschnitten 111 entlang der Höhe des piezoelektrischen Staps 10 angeordnet, wodurch die erste Seitenelektrode 11 gebildet wird.

[0149] Die erste herausgeführte Elektrode 161 ist in den ersten leitenden Abschnitten 112 der ersten Seitenelektrode 11 vergraben.

[0150] Gleichwohl es nicht gezeigt ist, kann dasselbe von der zweiten Seitenelektrode gesagt werden.

[0151] Andere Einzelheiten sind ähnlich zu jenen des ersten Ausführungsbeispiels.

[0152] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel umfasst die gestapelte piezoelektrische Vorrichtung 1 die aus in dem ersten leitenden Abschnitt und dem zweiten leitenden Abschnitt vergraben gewellten Metallplatten bestehende erste und zweite herausgeführte Elektrode, und daher ist die Leitung zwischen der ersten Seitenelektrode 11 und der er-

sten herausgeführten Elektrode 161 und zwischen der zweiten Seitenelektrode und der zweiten herausgeführten Elektrode stets sichergestellt. Die Ausdehnung und Kontraktion des piezoelektrischen Staps 10 erfolgt entlang der Höhe des Staps. Da jedoch die Metallplatte die gewellte Gestalt aufweist, hält es die Ausdehnung und Kontraktion aus.

[0153] Es wird angemerkt, dass alle der die gewellte Gestalt aufweisenden ersten und zweiten herausgeführten Elektroden nicht immer in dem ersten und zweiten leitenden Abschnitt vergraben sein müssen. Wenn Teile der herausgeführten Elektroden vergraben sind, kann die Menge des Materials des ersten leitenden Abschnitts reduziert werden.

[0154] Andere Arbeitsweisen und Wirkungen sind ähnlich zu jenen des ersten Ausführungsbeispiels.

#### Ausführungsbeispiel 4

[0155] Gemäß Fig. 13 umfasst eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung 1 gemäß diesem Ausführungsbeispiel einen zweiten isolierenden Abschnitt 121 und eine dünne Elektrodenschicht 159. Die dünne Elektrodenschicht 159 ist zwischen der Seite 102 des piezoelektrischen Staps 10 und dem zweiten leitenden Abschnitt 122 bereitgestellt. In der Figur sind lediglich der zweite isolierende Abschnitt 121 und der zweite leitende Abschnitt 122 gezeigt. Der erste isolierende Abschnitt und der erste leitende Abschnitt werden jedoch auf ähnliche Weise bereitgestellt.

[0156] Der übrige detaillierte Aufbau ist derselbe wie der bei dem ersten Ausführungsbeispiel.

[0157] Da die gestapelte piezoelektrische Vorrichtung 1 gemäß diesem Ausführungsbeispiel die dünne Elektrodenschicht 159 umfasst, kann der Kontakt zwischen den ersten und zweiten leitenden Abschnitten und dem piezoelektrischen Staps 10 sicher gestellt werden, wie auch die elektrische Leitfähigkeit zu den inneren Elektrodenschichten.

[0158] Andere Arbeitsweisen und Wirkungen sind ähnlich zu jenen bei dem ersten Ausführungsbeispiel.

[0159] Gemäß vorstehender Beschreibung umfasst eine gestapelte piezoelektrische Vorrichtung mit hoher Dauerhaftigkeit und ein Verfahren zu dessen Herstellung mit einer erleichterten Steuerung beim Herstellungsvorgang einen piezoelektrischen Staps 10 mit einer ersten Seitenelektrode 11 und einer zweiten Seitenelektrode 12, piezoelektrische Schichten 131, 132 und innere Elektrodenschichten 141, 142 mit im Wesentlichen derselben Fläche, wobei die Enden der inneren Elektrodenschichten 141, 142 an der Seite 101 des Staps 10 freigelegt sind, und die erste Seitenelektrode 11 an den Enden von alternierenden inneren Elektrodenschichten 141 ausgebildete erste isolierende Abschnitte 111 und einen über den ersten isolierenden Abschnitt 111 ausgebildeten ersten leitenden Abschnitt 121 beinhaltet, dabei ist eine zweite Seitenelektrode 12 in ähnlicher Weise konfiguriert, damit isolierende Abschnitte 112 an den anderen Enden ausgebildet werden, wobei die ersten und zweiten isolierenden Abschnitte 111, 112 aus einem isolierenden Harz ausgebildet sind, während die ersten und zweiten leitenden Abschnitte 112, 122 aus einem leitenden Harz ausgebildet sind.

#### Patentansprüche

1. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung mit: einem piezoelektrischen Staps mit piezoelektrischen Schichten, die zum Ausdehnen und Zusammenziehen gemäß einer angelegten Spannung angepasst sind, und mit inneren Elektrodenschichten für die Zufuhr der angelegten Spannung, wobei jede der piezoelektrischen Schichten mit einer entsprechenden der inneren Elek-

trodenschichten alternierend gestapelt ist; und einer ersten Seitenelektrode, die auf einer Seite des piezoelektrischen Staps angeordnet ist, sowie einer zweiten Seitenelektrode, die auf der anderen Seite des piezoelektrischen Staps angeordnet ist, wobei die inneren Elektrodenschichten so konfiguriert sind, dass Benachbarte von ihnen mit einer piezoelektrischen Schicht dazwischen durch die Seitenelektroden mit einer Spannung unterschiedlicher Polarität versorgt werden; 5

wobei die piezoelektrischen Schichten und die inneren Elektrodenschichten so konfiguriert sind, dass sie im wesentlichen dieselbe Fläche aufweisen; 10

wobei die Enden der inneren Elektrodenschichten an den Seiten des piezoelektrischen Staps freigelegt sind; 15

wobei die erste Seitenelektrode eine Vielzahl von ersten isolierenden Abschnitten beinhaltet, die zur Bedeckung von Alternierenden der an einer Seite des piezoelektrischen Staps freigelegten Enden der inneren Elektrodenschichten ausgebildet sind, dabei ist ein erster leitender Abschnitt auf den ersten isolierenden Abschnitten entlang der Höhe des piezoelektrischen Staps angeordnet; 20

wobei die erste Seitenelektrode Alternierende der inneren Elektrodenschichten mit Spannung versorgt; 25

wobei die zweite Seitenelektrode eine Vielzahl von zweiten isolierenden Abschnitten beinhaltet, die zur Bedeckung von jenen Alternierenden der an der anderen Seite des piezoelektrischen Staps freigelegten und nicht mit den ersten isolierenden Abschnitten ausgebildeten Enden der inneren Elektrodenschichten ausgebildet sind, dabei ist ein zweiter leitender Abschnitt auf den zweiten isolierenden Abschnitten entlang der Höhe des piezoelektrischen Staps angeordnet; 30

wobei die zweite Seitenelektrode Alternierende der inneren Elektrodenschichten mit Spannung versorgt; 35

wobei die ersten und zweiten isolierenden Abschnitte aus einem isolierenden Harz konfiguriert sind; und wobei die ersten und zweiten leitenden Abschnitte aus einem leitenden Harz konfiguriert sind. 40

2. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das isolierende Harz zumindest aus Epoxidharz, Polyimidharz, Siliziumharz, Fluoroharz, Urethanharz, Acrylharz, Nylonharz oder Polyesterharz ausgebildet ist. 45

3. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das leitende Harz ein Metallmaterial und ein Harzmaterial enthält, das Metallmaterial ist dabei zumindest aus Silber, Gold, Kupfer, Nickel, einer Silberpalladiumverbindung, Kohlenstoff oder Zinn ausgebildet. 50

4. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das leitende Harz ein Metallmaterial und ein Harzmaterial enthält, das Harzmaterial ist dabei zumindest aus Epoxidharz, Polyimidharz, Siliziumharz, Fluoroharz, Urethanharz, Acrylharz, Nylonharz oder Polyesterharz ausgebildet. 55

5. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausmaß des dem leitenden Harz hinzugefügten Metallmaterials 50 bis 90 Gewichtsprozent beträgt. 60

6. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Elastizitätsmodul des isolierenden Harzes und des leitenden Harzes 0,1 MPa bis 40 GPa beträgt. 65

7. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach einem

der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der spezifische elektrische Widerstand des isolierenden Harzes nicht weniger als  $10^8 \Omega/\text{cm}$  beträgt. 5

8. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der spezifische elektrische Widerstand des leitenden Harzes nicht mehr als  $10^{-1} \Omega/\text{cm}$  beträgt. 10

9. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Seitenelektrode außerhalb eines Kontaktes miteinander auf den Seitenoberflächen des piezoelektrischen Staps angeordnet sind. 15

10. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch eine erste und eine zweite Herausführungselektrode, die mit der ersten und der zweiten Seitenelektrode elektrisch verbunden sind. 20

11. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der ersten und der zweiten Herausführungselektrode in der ersten und der zweiten Seitenelektrode vergraben ist, wobei die erste und die zweite Herausführungselektrode mit dem leitenden Harz verbunden wird, wenn der leitende Harz ausgebildet wird. 25

12. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Leitung der ersten und der zweiten Herausführungselektrode von einem Ende entlang der Höhe des piezoelektrischen Staps zu deren anderem Ende gesichert ist. 30

13. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Herausführungselektrode von gewellter, geschlitzter, kammartiger oder netzartiger Gestalt sind. 35

14. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine dünne Elektrodenschicht zwischen den ersten und zweiten leitenden Abschnitten und den Seitenoberflächen des piezoelektrischen Staps angeordnet ist. 40

15. Gestapelte piezoelektrische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die dünne Elektrodenschicht eine plattierte Schicht oder eine aus der Gasphase abgeschiedene Schicht ist. 45

16. Verfahren zur Herstellung einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass eine isolierende Harzschicht auf den Seitenoberflächen des piezoelektrischen Staps ausgebildet wird, wonach die isolierenden Harzschichten von Alternierenden der piezoelektrischen Schichten entfernt werden, wodurch ein isolierender Abschnitt ausgebildet wird. 50

17. Verfahren zur Herstellung einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die isolierende Harzschicht durch das Tintenstrahlverfahren oder das Druckverfahren ausgebildet wird. 55

18. Verfahren zur Herstellung einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die isolierenden Harzschichten durch das Laserverfahren oder das Photolithografieverfahren entfernt werden. 60

**- Leerseite -**

Fig.1

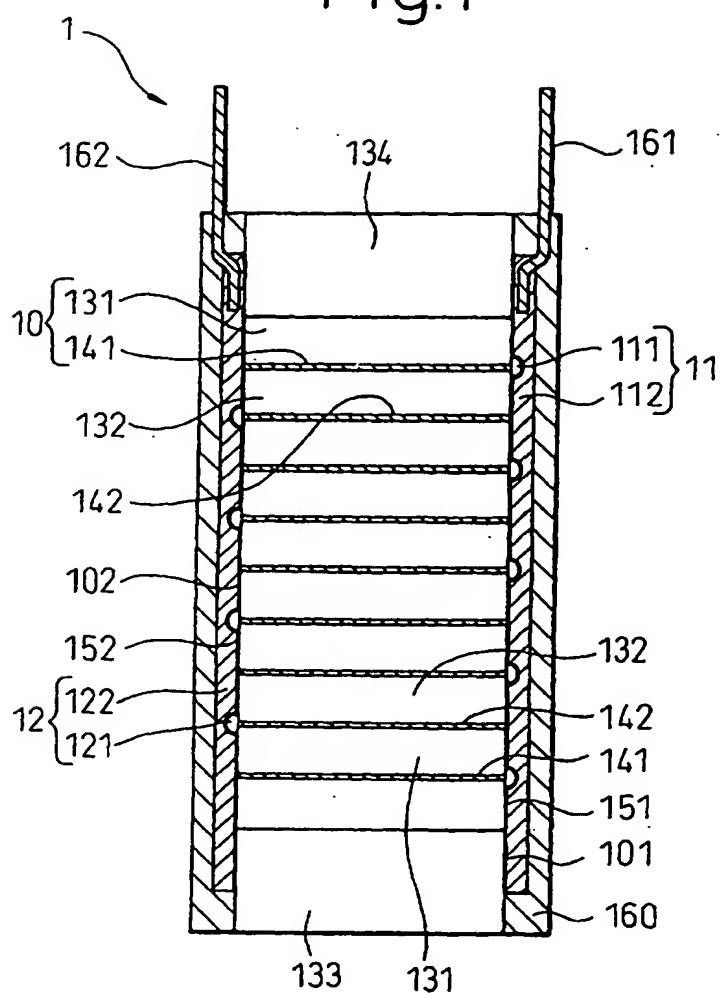


Fig. 2A

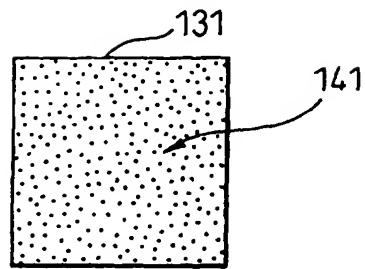


Fig. 2B

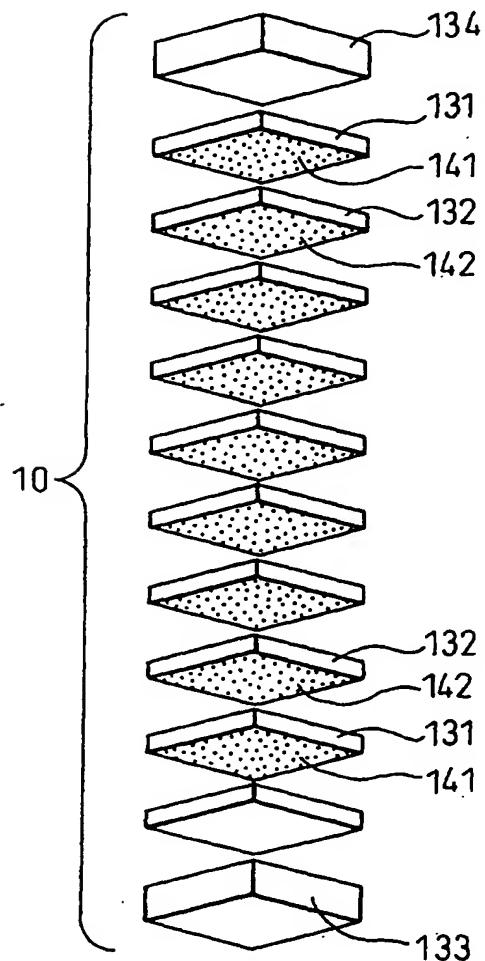


Fig. 3

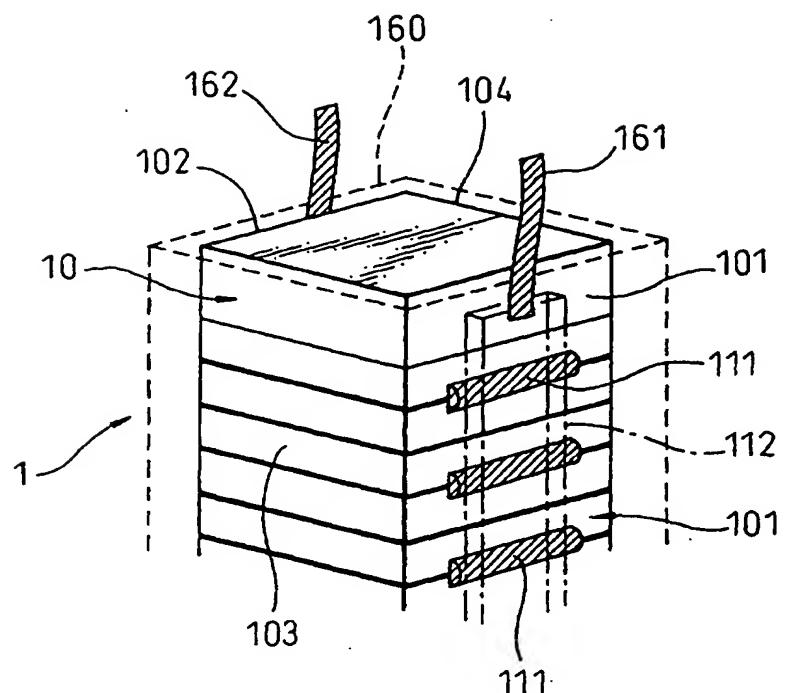


Fig.4A

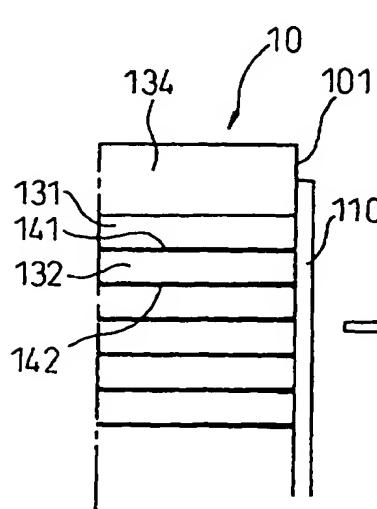


Fig.4B

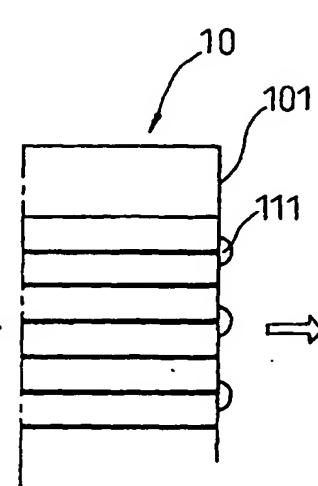


Fig.4C

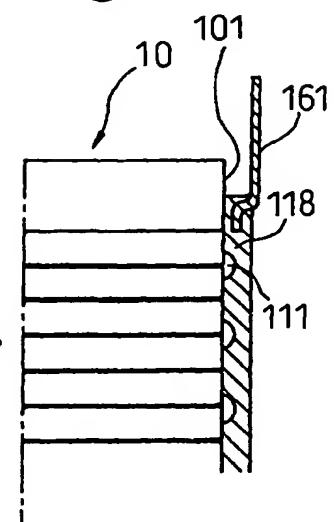


Fig. 5

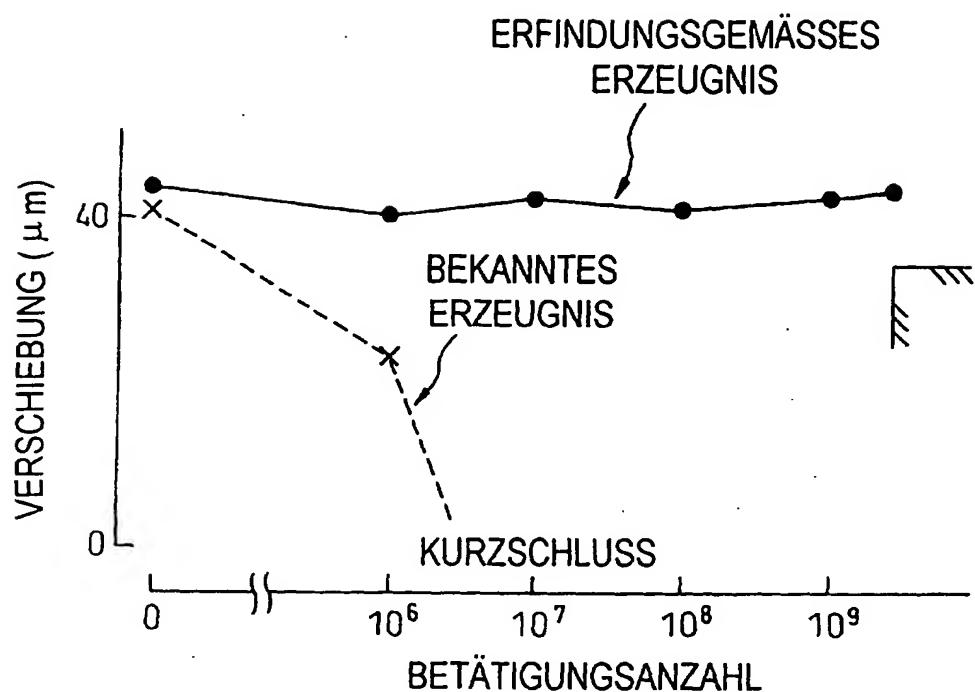


Fig. 6

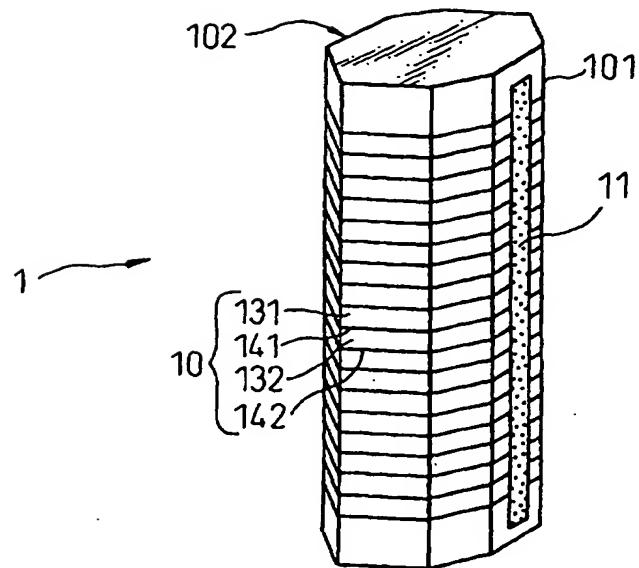


Fig. 7

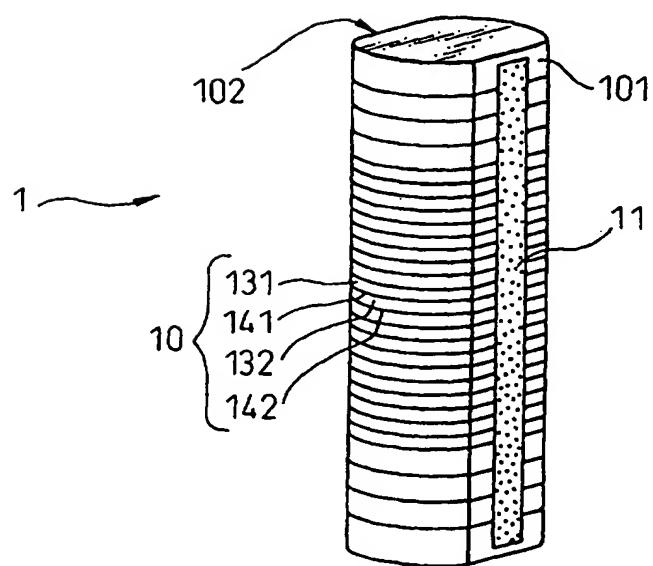


Fig.8

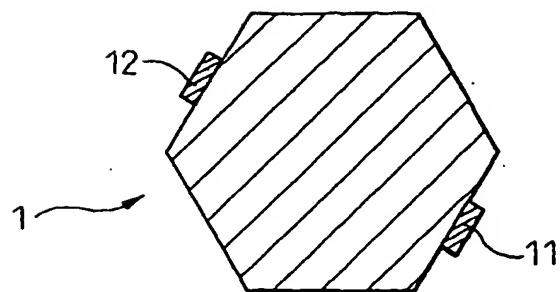


Fig.9

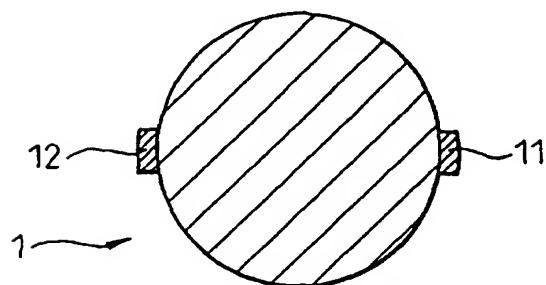


Fig.10

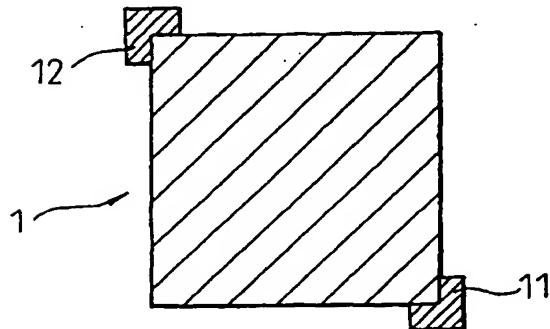


Fig.11

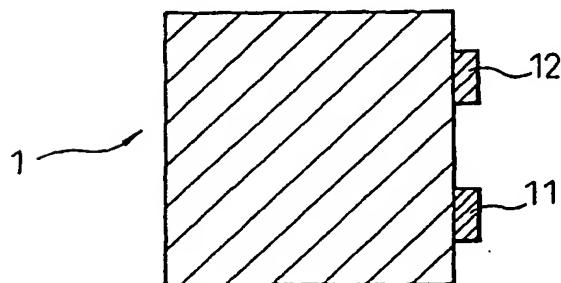


Fig.12

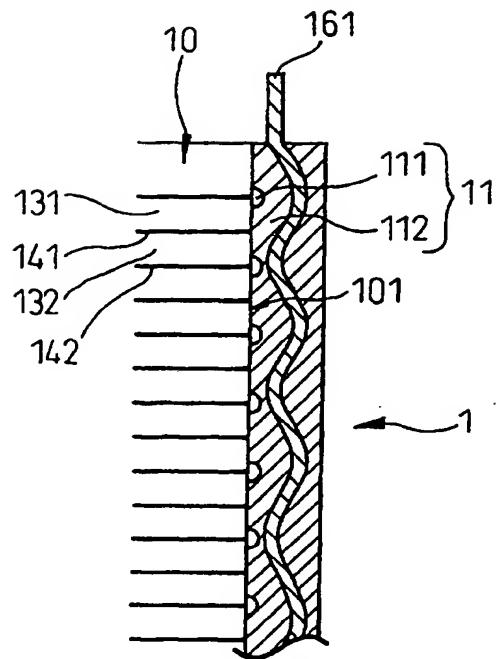


Fig.13

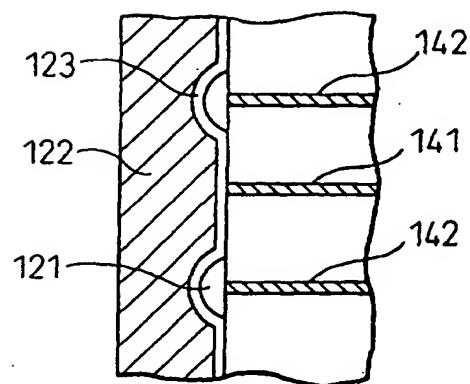


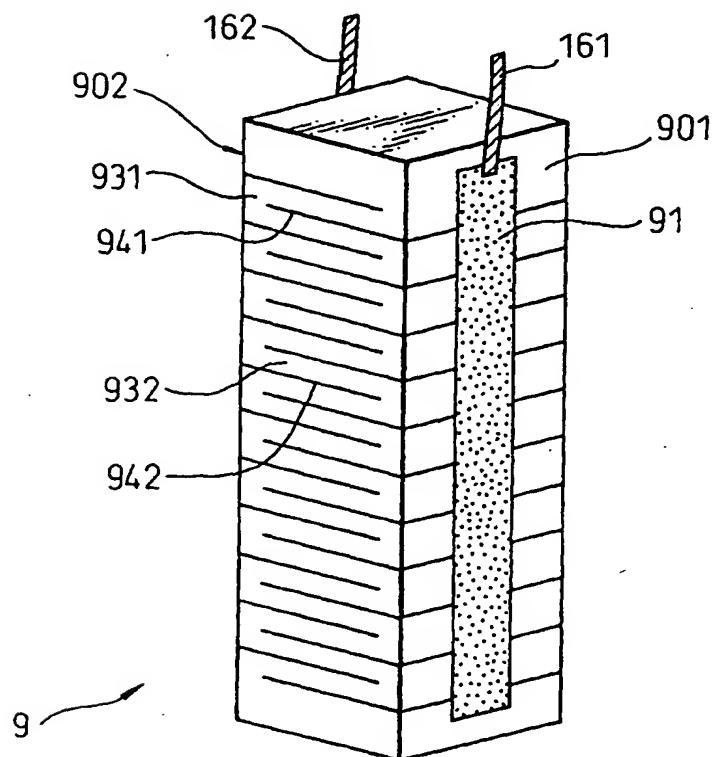
Fig.14  
STAND DER TECHNIK

Fig.15

## STAND DER TECHNIK

